

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

THAIS DELAQUA COSTA TEDESCO

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS UTILIZANDO GRANULOMETRIAS
DISTINTAS DE PERLITA

Joinville

2016

THAIS DELAQUA COSTA TEDESCO

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS UTILIZANDO GRANULOMETRIAS
DISTINTAS DE PERLITA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel
em Engenharia de Infraestrutura
da Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Joinville.

Orientador: Dr. Eng. Luciano Senff

Joinville

2016

Thais Delaqua Costa Tedesco

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS UTILIZANDO GRANULOMETRIAS
DISTINTAS DE PERLITA

Monografia julgada e aprovada como
requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia de
Infraestrutura na Universidade Federal
de Santa Catarina, Campus Joinville.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luciano Senff

Orientador

Prof. Dr. Helena Ravache Samy Pereira

Prof. M.e Valéria Bennack

Joinville, 28 de junho de 2016.

Comece fazendo o necessário,
depois o que é possível, e de
repente você estará fazendo o
impossível.

(São Francisco de Assis)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, José e Adriana, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, pelos esforços que fizeram para me proporcionar o melhor e pelo apoio nessa trajetória.

Aos meus irmãos, Bruna e Lucas, sem vocês a vida não teria graça.

Aos meus avós, pelo carinho e incentivo.

As minhas amigas, Ana, Isabelle e Gabriela, pelos momentos de descontração e apoio.

Ao professor Luciano Senff, por ter me guiado nessa etapa final com muita paciência e dedicação.

À professora Helena, coordenadora do curso de engenharia civil da Católica Santa Catarina, por ter aberto seus laboratórios para minha pesquisa.

E a UFSC de Joinville e seus professores que através dos anos contribuíram para minha formação acadêmica.

RESUMO

A indústria da construção busca, cada vez mais, novos métodos que possam facilitar a execução, bem como reduzir custos referentes as obras. Atualmente o esforço existente para melhoria do desempenho das alvenarias visa maior economia de energia e melhores condições de conforto. Nesse contexto, a utilização de agregados leves na composição da argamassa se mostra uma alternativa eficiente na construção atual dada as vantagens dos materiais de baixa densidade: maior rapidez de construção, redução de custos, bom isolamento térmico e acústico e também redução do peso próprio, quando comparado a argamassa convencional. Porém a substituição do agregado clássico pelo leve deve ser criteriosa já que a presença de novos materiais pode alterar as características físicas, que devem ser investigados. Este trabalho pretende avaliar o impacto da adição da perlita, um agregado leve natural, nas argamassas produzidas por meio das propriedades de consistência na mesa, densidade aparente, absorção de água, porosidade aberta, retração e resistência à compressão.

Palavras-chave: argamassas, argamassas leves, perlita.

ABSTRACT

The construction industry increasingly search new methods that facilitate implementation and reduce costs. Currently the existing effort to improve the performance of masonry seeks greater energy savings and improved comfort conditions. In this context, the use of lightweight aggregates in the composition of the mortar shown an efficient alternative in the current construction given the advantages of low density materials: faster construction, reduced cost, good thermal and acoustic insulation and also reducing the own weight, when compared to conventional mortar. But the replacement of the classic aggregate for the lightweight aggregate must be careful cause the presence of new materials can change the physical characteristics which should be investigated. This study aims to assess the impact of the addition of perlite, a natural lightweight aggregate, in mortars produced by the consistency properties in the table, bulk density, water absorption, open porosity, retraction and compressive strength.

Keywords: mortars, lightweight mortars, perlite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Camadas dos revestimentos de argamassa.....	13
Figura 2: Pedra-pome	17
Figura 3: Microestrutura das cinzas volantes	18
Figura 4: Vermiculita	19
Figura 5: Microestrutura da perlita expandida	21
Figura 6: Organograma das atividades executadas.....	22
Figura 7: Perlita em diferentes granulometrias: (a) PF; (b) PI; (c) PG.....	24
Figura 8: Mesa para determinação da consistência das argamassas no estado fresco.....	26
Figura 9: Molde com formulação	27
Figura 10: Corpos de prova desmoldados	27
Figura 11: Máquina de compressão utilizada no ensaio	27
Figura 12: Amostras utilizadas nas propriedades físicas	28
Figura 13: (a) Amostras imersas; (b) Pesagem da amostra imersa; (c) Pesagem da massa saturada de superfície seca amostra.....	28
Figura 14: Corpos de prova utilizados no ensaio de retração.....	30
Figura 15: Equipamento utilizado para determinação da retração das argamassas ao longo do tempo	30
Figura 16: Abertura da argamassa na mesa de consistência	33
Figura 17: Densidade Aparente das argamassas aos 28 dias de cura	34
Figura 18: Porosidade aberta e absorção de água das argamassas aos 28 dias de cura.....	34
Figura 19: Comparativo das propriedades - porosidade aberta x absorção de água.....	35
Figura 20: Comparativo das propriedades – densidade aparente x porosidade aberta.....	36
Figura 21: Retração dos corpos de prova aos 28 dias de cura.....	36
Figura 22: Variação de massa dos corpos de prova de retração aos 28 dias de cura.....	37
Figura 23: Resistência à compressão aos 28 dias de cura	38
Figura 24: Comparativo das propriedades - resistência mecânica x porosidade aberta	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.....	12
Tabela 2: Composição química da perlita.....	21
Tabela 3: Ficha técnica argamassa para reboco da Euromax	23
Tabela 4: Ficha técnica perlitas	24
Tabela 5: Formulações utilizadas no presente estudo.....	25
Tabela 6: Formulação dos CP'S	32

LISTA DE ABREVIACÕES

CP'S	Corpos de prova
ARG	Argamassa
REF	Referência
PER	Perlita
PF	Perlita de granulometria fina
PI	Perlita de granulometria intermediária
PG	Perlita de granulometria grossa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	OBJETIVOS.....	10
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	10
1.1.3	Estrutura da apresentação do trabalho	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	ARGAMASSAS	11
2.1.1	Definições e Aplicações.....	11
2.1.2	Propriedades da argamassa no estado fresco	13
2.1.3	Propriedades da argamassa no estado endurecido	15
2.2	AGREGADOS LEVES.....	16
2.2.1	Principais agregados leves utilizados	17
2.3	PERLITA.....	19
2.3.1	Características.....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	MATERIAIS.....	23
3.1.1	Argamassa.....	23
3.1.2	Perlita.....	23
3.2	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	24
3.3	ENSAIOS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO.....	25
3.3.1	Índice de consistência	25
3.3.2	Resistência à compressão	26
3.3.3	Densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta	27
3.3.4	Ensaio de retração	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32

4.1	TRABALHABILIDADE	32
4.2	DENSIDADE APARENTE.....	33
4.3	POROSIDADE ABERTA E ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	34
4.4	RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS	36
4.5	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	37
5	CONCLUSÕES.....	39
	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O aprimoramento de técnicas e a otimização de processos na construção civil favorece a busca por novos materiais de forma a suprir a demanda de métodos inovadores que tornam o investimento mais rentável. Em obras convencionais de concreto, o peso próprio de uma estrutura representa a maior parte da carga total a ser considerada, nesses casos, como alternativa versátil e eficiente, apresenta-se o concreto com adição de agregados leves.

A classificação de um concreto leve se dá através do seu modo de utilização, em particular à sua resistência, podendo ser estrutural, isolante térmico ou ainda componente para alvenaria. A vantagem de uma adição do tipo leve em uma estrutura de concreto é que permite uma redução nas cargas permanentes e totais, e, por consequência, redução nas dimensões da fundação (NEVILLE, 1997).

Os agregados leves podem ser diferenciados entre naturais e artificiais. Agregados leves naturais são, em sua maioria, de origem vulcânica, porém não são muito utilizados já que se apresentam em poucas regiões. Já os artificiais são classificados com base na matéria prima utilizada e o método de produção, como a aplicação de calor ou processos especiais de resfriamento (NEVILLE, 1997).

Ao substituir os agregados convencionais por agregados leves, há uma redução da massa específica do concreto, mas outras propriedades como a trabalhabilidade, a resistência mecânica, o módulo de deformação, a durabilidade, a estabilidade dimensional, a condutibilidade térmica podem ser igualmente alteradas (ROSSIGNOLO, 2005).

Dentre os agregados leves, a perlita é uma rocha vulcânica vítrea e segundo Neville (1997), ao ser aquecido rapidamente até o ponto de fusão (900 a 1100°), expande devido à formação do vapor e forma um material celular de baixa massa específica, entre 30 e 240 kg/m³. O concreto produzido com perlita apresenta menor resistência mecânica, retração elevada, devido a perda de água por evaporação ou pela hidratação do cimento, e seu uso é mais indicado para fins de isolamento, atribuído à formação de uma estrutura porosa.

Portanto, este trabalho de pesquisa tem por objetivo analisar a influência das granulometrias distintas de perlita sobre as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. A metodologia se inicia no levantamento teórico do tema e então a busca pelo material que atende os requisitos da pesquisa, seguido pela produção e caracterização, em laboratório, das argamassas leves com adição de perlita, fase composta pela dosagem,

moldagem, lançamento, adensamento e cura do material. Feitos os corpos de prova, serão testados aos 28 dias de cura e então avaliados suas propriedades físicas e mecânicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da adição da perlita, como agregado leve, em granulometrias distintas sobre as propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas de cimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Propor formulações de argamassas;
- Avaliar os efeitos causados na trabalhabilidade da mistura de argamassa com adição de perlita em diferentes granulometrias;
- Analisar os resultados causados nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas com as adições;
- Gerar informações gráficas que possam fornecer considerações sobre o uso da perlita.

1.1.3 Estrutura da apresentação do trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos

O capítulo um, Introdução, apresenta uma breve introdução, com abordagens de questões relativas à justificativa e seus objetivos.

O segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, são apresentadas definições importantes relacionadas ao tema usando como base livros, artigos e normas.

O terceiro capítulo, Materiais e Métodos, descreve a parte experimental da pesquisa, onde serão apresentados os métodos adotados para a realização dos ensaios nas argamassas, assim como a apresentação dos materiais utilizados.

No capítulo quatro, Resultados e Discussões, encontra-se a análise e discussão dos resultados dos ensaios realizados nas argamassas no estado fresco e endurecido.

No capítulo cinco, Conclusões, estão dispostas as conclusões finais sobre o trabalho e apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Através das normas brasileiras e obras literárias, nesse capítulo serão abordados os aspectos dos materiais envolvidos no estudo em questão.

2.1 ARGAMASSAS

Associadas à arquitetura e à construção de edifícios há milhares de anos as argamassas são tradicionalmente utilizadas em muros e paredes e para revestimento das mesmas (MIRANDA, 2009).

Aqui serão abordados os itens que contemplam as argamassas de revestimentos e suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

2.1.1 Definições e Aplicações

Obtidos a partir de mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, as argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (ISAIA, 2007).

Segundo a NBR 7200 (1998) as argamassas são definidas como uma mistura de aglomerantes, agregados e água, que possui capacidade de endurecimento e aderência.

São constituídas basicamente por aglomerantes, em geral o cimento Portland e a cal hidratada são os mais comuns, em conjunto com areia e água podendo apresentar adições visando melhoras em alguma característica específica. As proporções dos componentes bem como seus atributos físicos e químicos, afetam as propriedades da argamassa, sendo importante conhecê-los (CARASEK, et al., 2001).

A utilização de argamassas na construção civil atende tanto à proteção de componentes da ação direta dos agentes agressivos, quanto à aderência de elementos e também a regularização da superfície dos elementos de vedação ou integrar-se no acabamento final. Suas aplicações estão diretamente ligadas à quantidade de aglomerantes, granulometria do

agregado e quantidade de água. São utilizadas para assentamento e revestimento de alvenarias, revestimentos de pisos, assentamento de revestimentos diversos, entre outros (RIBEIRO, 2002 apud SIQUEIRA 2011).

Para Carasek (2007) as principais funções de um revestimento são proteger a alvenaria e a estrutura externa da ação do intemperismo; regularizar a superfície de elementos de vedação contribuindo para isolamento térmico, acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais.

De acordo com a NBR 13749 (1996) o revestimento de argamassa deve exibir textura uniforme e sem imperfeições como cavidades, fissuras, manchas e eflorescência visando aprovação conforme especificações de projeto a partir dos níveis de tolerância admitidas.

Um conjunto de propriedades específicas é necessário para que a argamassa possa cumprir adequadamente as suas funções, que estão relacionadas ao seu estado fresco e endurecido, conforme Baía e Sabbatini (2002). As propriedades que as argamassas devem possuir estão apresentadas na tabela 1.

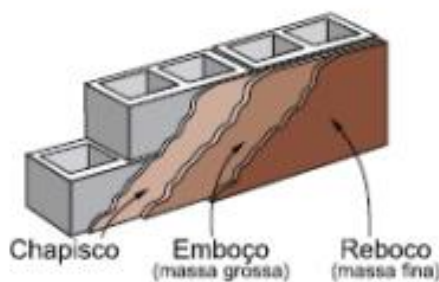
Tabela 1: Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido

ESTADO FRESCO	ESTADO ENDURECIDO
Massa específica e teor de ar	Aderência
Trabalhabilidade	Capacidade de absorver deformações
Retenção de água	Resistência mecânica
Aderência inicial	Resistência ao desgaste
Retração na secagem	Durabilidade

Fonte: Baía e Sabbatini, 2002, com adaptação do autor, 2016

Ainda conforme Baía e Sabbatini (2002), os revestimentos podem ser classificados de acordo com o número de camadas, podendo apresentar uma única camada, intitulado massa única; e de duas camadas, denominado emboço e reboco. As camadas que compõem o revestimento argamassado está disposto na figura 1 e podem ser conceituados, segundo Carasek (2007) como:

Figura 1: Camadas dos revestimentos de argamassa



Fonte: Gomes, 2008

Chapisco é a camada de preparo da base, que tem por finalidade uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento, sendo aplicada de forma contínua. O emboço é a camada de revestimento que cobre e regulariza a superfície a qual fica possibilitada de receber outra camada de reboco ou revestimento decorativo. Reboco é a camada de revestimento que cobre o emboço, permitindo que a superfície receba o acabamento final e massa única representa a aplicação de uma única camada de argamassa na base, sucedida pela aplicação da camada decorativa.

2.1.2 Propriedades da argamassa no estado fresco

Para que se possa garantir qualidade e durabilidade da argamassa é necessário conhecer seu comportamento no estado plástico. Seu desempenho no estado fresco está relacionado aos materiais empregados, ao traço, à mistura, à espessura e a forma de aplicação, conforme Gomes (2008).

Segundo Baía e Sabbattini (2002) as principais características das argamassas no estado fresco são a trabalhabilidade, retenção de água, massa específica, teor de ar incorporado, aderência inicial e retração na secagem. Neste trabalho serão abordadas abaixo as propriedades de trabalhabilidade, massa específica e teor de ar.

2.1.2.1 Trabalhabilidade

A argamassa é uma suspensão fluida reativa cuja consistência é modificada, sobretudo pela hidratação do cimento (CARDOSO, 2009). Trata-se de um material aplicado no estado fresco que desempenha a maior parte de suas funções no estado endurecido.

As características das argamassas frescas, por sua vez, são dependentes de muitos fatores relacionados à dosagem, às propriedades dos materiais componentes, às técnicas de aplicação e mistura. Portanto, devem ser especificados de acordo com os objetivos a serem cumpridos, como: permitir adequada mistura, fácil aplicação e acabamentos, sem desperdício de material e tempo, apresentar propriedades compatíveis com o substrato que garantam o desempenho perante as condições do meio e as solicitações durante sua vida útil (CARDOSO et al. 2005)

A trabalhabilidade é definida por Carasek (2007) como propriedade no estado fresco que fixa a facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea. De acordo com Bauer (2005) a trabalhabilidade está associada a outras propriedades como coesão, plasticidade, consistência, retenção de água, adesão inicial, entre outros.

A avaliação da trabalhabilidade através de ensaios, para Silva (2011), é uma tarefa difícil, pois depende das características dos materiais que constituem a argamassa, da habilidade do oficial executando o serviço, bem como as propriedades do substrato e da técnica de aplicação.

2.1.2.2 Massa Específica e Teor de Ar

Maciel (1998) afirma que massa específica é a relação entre a massa da argamassa e seu volume e pode ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta não são considerados os vazios, já na relativa, ou massa unitária, eles são ponderados. Na dosagem das argamassas, é necessário conhecer a massa específica para a conversão do traço em massa para o traço em volume.

O teor de ar incorporado é definido pela quantidade de ar existente em um dado volume de argamassa, quando o teor de ar aumenta, a densidade da argamassa diminui, afetando diretamente outras propriedades no estado fresco (BEZERRA, 2010).

Conforme Carasek (2007), a massa específica varia com o teor de ar e com a massa específica de materiais integrantes da argamassa, prioritariamente do agregado.

2.1.3 Propriedades da argamassa no estado endurecido

A argamassa, após a mistura de seus elementos, encontra-se no estado plástico, passando pouco tempo até a consistência deixar de ser constante. Parte da água é absorvida e outra parte evapora, originada das reações iniciais de hidratação do cimento, a massa plástica passa para o estado semi-sólido, com o aumento da consistência, conhecida como fase da pega. A partir de então, a argamassa passa ao estado sólido, caracterizado pelo crescimento da resistência (GOMES,2008).

Sabbatini (2000) comenta que, as argamassas endurecidas devem apresentar capacidade de acomodar a deformação gerada pelos esforços internos e externos de diversas origens e ainda assim retornar à dimensão original quando cessam tais esforços sem romper, ou através do surgimento de fissuras microscópicas que não comprometam o desempenho do revestimento no que diz respeito à aderência, estanqueidade e durabilidade, algumas de suas propriedades. As principais estão descritas a seguir:

2.1.3.1 Resistência Mecânica

Propriedade dos revestimentos de suportarem as ações mecânicas de naturezas diferentes, devido à abrasão superficial, ao impacto e à contração termoigroscópica. Essa propriedade depende do consumo, da natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa empregada e da técnica de execução (SABBATINI e BAIA, 2008).

Carasek (2007) diz que a resistência mecânica é a propriedade que os revestimentos dispõem no estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos de diversas origens e que se traduzem, geralmente, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

2.1.3.2 Absorção de água e Porosidade aberta

A absorção de água é consequência da ação da capilaridade, isolada ou em conjunto com outras ações, como a pressão exercida pelo vento em situações de chuva. Porém sabe-se que a absorção de água possui ligação direta com a quantidade e o tamanho dos poros do material (RATO, 2006).

Segundo Gomes (2008), para conferir trabalhabilidade nas argamassas utiliza-se uma quantidade de água superior a necessária para produzir as reações de endurecimento da mistura. Assim, a quantidade excessiva de água, que não é utilizada no processo de hidratação, é perdida superficialmente (por evaporação) ou através do contato entre argamassa e substrato. Desta perda de água surge a porosidade da argamassa.

Já Rato (2006) afirma que, um material poroso é aquele que contém espaços não preenchidos por sólidos, normalmente ocupados por um fluido, sendo ar ou água e que a quantidade de água absorvida depende essencialmente do valor da porosidade na argamassa e que essas propriedades interferem diretamente no desempenho e durabilidade do material.

2.1.3.3 Retração

A redução do volume da argamassa é um fenômeno que se dá pela perda de água para o substrato por sucção, evaporação ou reação química dos componentes do cimento e da cal (SILVA, 2006).

Segundo Peña (2004), as variáveis que influenciam na retração estão relacionados com a composição da mistura, relação a/c e o volume da pasta ou relacionados a condição de exposição do material, umidade, período de cura, variação de temperatura e vento.

2.2 AGREGADOS LEVES

Agregados são materiais granulares, normalmente inertes por não reagirem quimicamente com a água, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em concretos e argamassas (MORAVIA, 2007).

Para valores de massa unitária inferiores a 1120 kg/m^3 são geralmente classificados como leves, sendo que sua menor massa ocorre devido a sua microestrutura celular ou altamente porosa dos agregados (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Rossignolo (2003) classifica os agregados leves em dois grupos. Os agregados leves naturais são geralmente de origem vulcânica, diretamente extraídos de jazidas e passam posteriormente por classificação granulométrica, como por exemplo, pedra-pomes, cinzas vulcânicas e cortiça. Já os agregados artificiais são obtidos de processos industriais e classificados conforme seu processo de fabricação e matéria-prima utilizada, a exemplo das argilas e escórias expandidas.

2.2.1 Principais agregados leves utilizados

2.2.1.1 Pedras Pomes

Agregado de origem vulcânica caracterizado pela coloração clara e massa específica na faixa de 500 a 900kg/m³ (NEVILLE, 1997).

Segundo Popovics (1992) sua característica esponjosa (figura 2) ocorre devido aos gases que tentam escapar da lava fundida quando esta atinge a superfície da terra, conferindo ao agregado uma estrutura interna com pequenos poros parcialmente interligados. As variedades encontradas, em sua maioria, são resistentes para produzir concretos leves de boa qualidade com propósitos estruturais.

Figura 2: Pedra-pome



Fonte: Souza, 2010

2.2.1.2 Argila, xisto e ardósia expandidos

Obtidos através de aquecimento das matérias-primas em fornos rotativos até o ponto de fusão incipiente (1000 a 1200°C), os agregados de argila, xisto e ardósia expandidos, sofrem expansão do material pela geração de aprisionamento de gases no interior da massa viscosa. A estrutura porosa, contínua após resfriamento, proporciona uma massa específica menos do que antes do tratamento térmico. Na maioria das vezes, esses materiais são reduzidos ao tamanho desejável antes da calcificação, embora o esmagamento do material após a expansão também pode ser feito (NEVILLE, 1997).

A expansão também pode se dar pelo processo de sintetização em que o material umedecido é carregado por uma esteira sob incineradores, de forma que o calor penetra gradualmente na estrutura do material (NEVILLE, 1997).

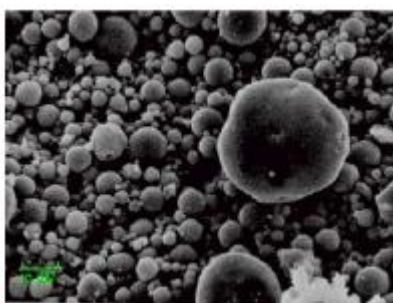
Os materiais fabricados pelo processo de sintetização apresentam densidade de 650 a 900 kg/m³ e os produzidos em forno rotativo entre 300 a 650 kg/m³. As variedades mais densas desses agregados podem ser usados em concretos leves estruturais, paredes de concreto e estruturas de concreto protendido (NEVILLE, 1997).

2.2.1.3 Cinzas volantes

Quando sintetizadas, as cinzas volantes, provenientes da combustão do carvão em pó, podem prover agregados leves de boa qualidade. Apresenta massa específica de aproximadamente 900 kg/m³ e são provenientes do carvão betuminoso (POPOVICS, 1992).

Popovics (1992) diz que, o processo usual de fabricação passa pelo preparo dos grânulos extrudados das cinzas volantes através da adição de água. Posteriormente o material é queimado em esteiras ou sintetizadores a cerca de 1260°C, temperatura que amolece e aglomera os grânulos, transformando-os em partículas maiores. A estrutura interna (figura 3) do material sintetizado é multicelular, o qual os vazios do interior da partícula são produzidos pela evaporação da água e eliminação de carbono.

Figura 3: Microestrutura das cinzas volantes



Fonte: Souza, 2010

2.2.1.4 Vermiculita

Mineral natural em que o processo de expansão se dá em mais de uma direção como resultado da sua estrutura laminar (POPOVICS, 1992).

Segundo Gerard (2003) apud Koksall, Genceli e Kaya (2015) a formação da vermiculita expandida ocorre em temperaturas de 650 a 1000°C em que passa por um aumento de 8 a 30 vezes seu tamanho inicial (figura 4).

Figura 4: Vermiculita



Fonte: Souza, 2010

O processo de expansão, para Ugarte, Sampaio e França (2008), se dá com a remoção da água estrutural associada ao mineral, por meio de fornos especiais, de forma rápida. Em seu estado expandido apresenta propriedades físicas aplicáveis na indústria em geral, já no estado lamelar possui pouca aplicação.

Conforme o autor acima, a principal aplicação da vermiculita na construção civil se dá em revestimentos com argamassas que trabalham como isolante térmico e acústico. Isso ocorre por sua baixa condutibilidade térmica e pequena propagação sonora. Na forma natural e expandida apresentam propriedades catalíticas e quando modificada quimicamente, podem ser usadas na remoção de resíduos nucleares, purificação de água, etc.

2.3 PERLITA

A perlita expandida está entre os agregados inorgânicos mais leves que existem, oriundo de um processo industrial de fabricação, sua massa específica é da faixa de 30 a 240 kg/ m³. O material básico pertence a um grupo de rochas efusivas densas, vítreas, com alto teor de água (2 a 6%) e estrutura interna composta de anéis concêntricos. O ponto de fusão é o mecanismo de expansão da rocha sólida, de forma que os poros se mantêm conectados pelo material fundido ao mesmo tempo em que o material permanece viscoso para manter os fluxos desenvolvidos e/ou os gases internos sob pressão. Isso expande as partículas,

possibilitando o surgimento de uma estrutura interna porosa que é mantida depois de resfriada (NEVILLE, 1976).

Se a rocha atinge o ponto de fusão a baixas temperaturas, entre 700 e 800°C, e a partir de então aquecê-la mais, a partícula de rocha transforma-se plástica de forma integral e a expansão se dá nas três dimensões. A extensão com que as partículas se ampliam também é influenciada pela dimensão da partícula em seu estado bruto (POPOVICS, 1992).

Ideal para preenchimento em telhados isolantes e plataformas estruturais de telhados, a perlita possui cerca de 10% do peso de agregados tradicionais como a areia e a brita. Apresenta superfície selada o que permite que as misturas sejam feitas com aproximadamente 30% menos de água do que as realizadas com outros tipos de agregados leves. Além disso, também proporciona baixo peso, retardo do fogo em estruturas, isolamento térmico e a facilidade de manipulação (PERLITE INSTITUTE, 2012).

2.3.1 Características

A capacidade de expandir é a grande característica que difere a perlita dos outros materiais e minerais vulcânicos, pois quando aquecida a altas temperaturas chega a aumentar de 4 a 20 vezes seu volume original. As argamassas com perlita não retém água, são incombustíveis e devido a sua origem inorgânica não se decompõem e nem reagem com agentes químicos e físicos. Permite ambientes isolados termicamente oferecendo economia em aquecimento e refrigeração (SCHUMACER INSUMOS, 2016).

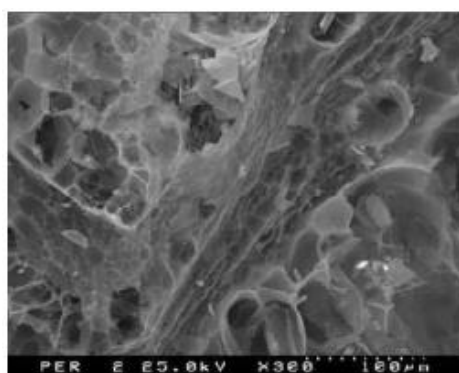
Outra característica é a leveza que a perlita apresenta devida a sua baixa densidade, sendo 15 vezes mais leve do que a areia. Além disso, solta ou combinada com cimento reduz de 60 a 80% a transmissão do som sendo excelente para isolamento acústico (SCHUMACHER INSUMOS, 2016). A composição química e a microestrutura da perlita estão dispostas na tabela 2 e figura 5, respectivamente.

Tabela 2: Composição química da perlita

Composto	Intervalo %
Al_2O_3	10 a 16
SiO_2	65 a 75
Fe_2O_3	~0.9
H_2O (perdida a 800°C/ 900°C)	~3.8
H_2O (perdida a 800°C/ 900°C)	~0.20
Na_2O , K_2O , CaO	2 a 4

Fonte: Souza, 2010

Figura 5: Microestrutura da perlita expandida

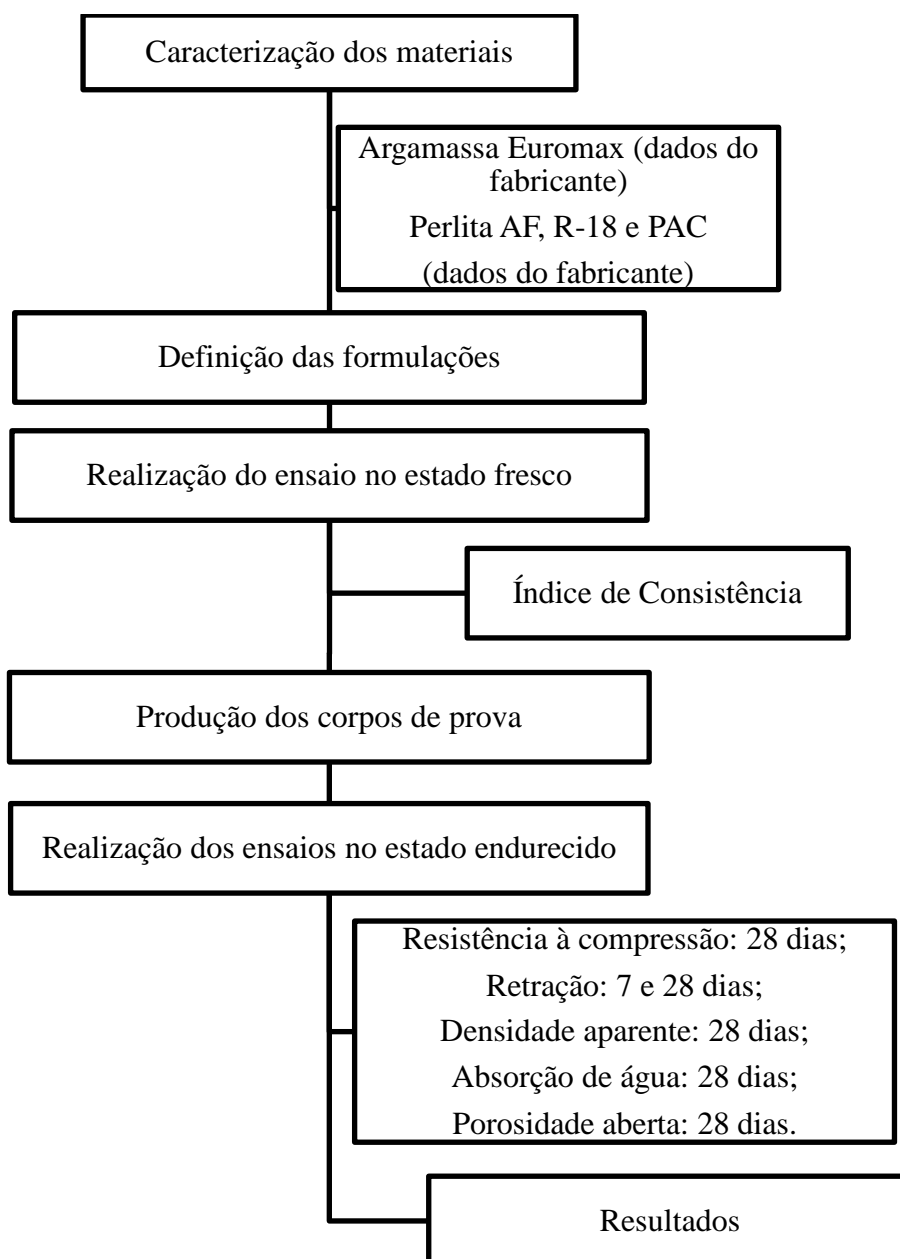


Fonte: Souza, 2010

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é descrito o procedimento experimental usado no presente trabalho de pesquisa, conforme indicado na figura 6. Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais de construção da UFSC/Joinville, enquanto o ensaio mecânico de compressão, realizado no Centro Universitário - Católica Santa Catarina.

Figura 6: Organograma das atividades executadas



3.1 MATERIAIS

3.1.1 Argamassa

Neste trabalho utilizou-se uma argamassa comercial, normalmente empregada em acabamentos internos e externos, da marca Euromax. A tabela 3 apresenta as informações técnicas fornecidas pela empresa.

Tabela 3: Ficha técnica argamassa para reboco da Euromax

Embalagem	20 kg
Validade	12 meses
Cor	Cinza
Consumo	14 kg/m ² com espessura de 1 cm
Resistência à compressão aos 28 dias	56 kgf/cm ²
Resistência ao arrancamento aos 28 dias	5 kgf/cm ²

Fonte: Argamassas Euromax. Disponível em:
<<http://www.argamassaseuromax.com.br/2015/reboco.html>>. Acesso em Maio, 2016. Adaptado pelo autor, 2016.

3.1.2 Perlita

As perlitas expandidas utilizadas no desenvolvimento desse trabalho foram fornecidas pela empresa Schumacher Insumos. Empregou-se três tipos distintos de granulometrias (figura 7), a multiperlita AF, a multiperlita R-18 e a multiperlita PAC, especificadas respectivamente em perlita fina (PF), intermediária (PI) e grossa (PG). Os dados fornecidos pela empresa estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Ficha técnica perlitas

	Granulometria (mm)	Calor específico (cal/g °C)	Massa específica Aparente (kg/m³)	Umidade (%)
Multiperlita AF (PF)	-	0,20	88 - 104	<0,5
Multiperlita R-18 (PI)	1 – 3	0,20	72 - 88	<0,5
Multiperlita PAC (PG)	3 – 10	0,20	64 - 80	<0,5

Fonte: Schumacher Insumos. Adaptado pelo autor, 2016.

Figura 7: Perlita em diferentes granulometrias: (a) PF; (b) PI; (c) PG



Fonte: Autor, 2016.

3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para a realização do presente estudo, foram produzidos corpos de prova variando a porcentagem de PER em 0%, 2,5% e 5% (relativo a massa utilizada de argamassa) para cada uma das granulometrias. A trabalhabilidade das misturas foram mantidas constantes utilizando

a mesa de consistência. Inicialmente, a formulação REF, sem qualquer adição, foi ajustada para uma abertura na mesa de 240 ± 10 mm. Para que todas as amostras apresentassem a mesma trabalhabilidade, a quantidade de água adicionada foi corrigida individualmente até a obtenção da mesma abertura na mesa.

A tabela 5 mostra as formulações usadas para a produção os corpos de prova, bem como a porcentagem de cada uma das perlitas adicionadas à argamassa.

Tabela 5: Formulações utilizadas no presente estudo

FORMULAÇÃO	PORCENTAGEM MATERIAL (%)				
	ARG	PF	PI	PG	ÁGUA (W)
2,5PF + 25,5W	100	2,5	-	-	25,5
5,0PF + 34W	100	5,0	-	-	34
2,5PI + 23,5W	100	-	2,5	-	23,5
5,0PI + 29,5W	100	-	5,0	-	29,5
2,5PG + 21,5W	100	-	-	2,5	21,5
5,0PG + 24,5W	100	-	-	5,0	24,5

Fonte: Autor, 2016.

3.3 ENSAIOS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO

3.3.1 Índice de consistência

O ensaio da mesa de consistência (figura 8), normatizado pela NBR 13276 (2005), é um dos principais ensaios empregados na construção civil que permite avaliar a trabalhabilidade de uma mistura em argamassa no estado fresco. Conforme citado anteriormente, para atingir o valor de abertura já fixado (240 ± 10 mm), a quantidade de água variou de acordo com a porcentagem do agregado leve bem como sua granulometria.

Figura 8: Mesa para determinação da consistência das argamassas no estado fresco



Fonte: Autor, 2016

3.3.2 Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão, foram produzidos 3 corpos de prova (4 x 4 x 16 cm) para cada uma das formulações e rompidos aos 28 dias, conforme a NBR 13279 (2005). Na figura 9 é indicado o molde utilizado para confecção dos CP'S, após o desmolde (figura 10) e a máquina universal de ensaios mecânicos utilizada para o ensaio de compressão dos CP'S (figura 11).

Os CP'S foram desmoldados após 3 dias de cura, pois não apresentavam resistência suficiente anterior a esta data. Este fato pode ser atribuído ao efeito combinado da presença de PER mais a adição de água.

Figura 9: Molde com formulação



Fonte: Autor, 2016

Figura 10: Corpos de prova desmoldados



Fonte: Autor, 2016

Figura 11: Máquina de compressão utilizada no ensaio



Fonte: Autor, 2016

3.3.3 Densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta

Com base nos valores de massa seca, imersa e saturada de superfície seca foi possível determinar as propriedades físicas referentes à densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta com 28 dias de cura.

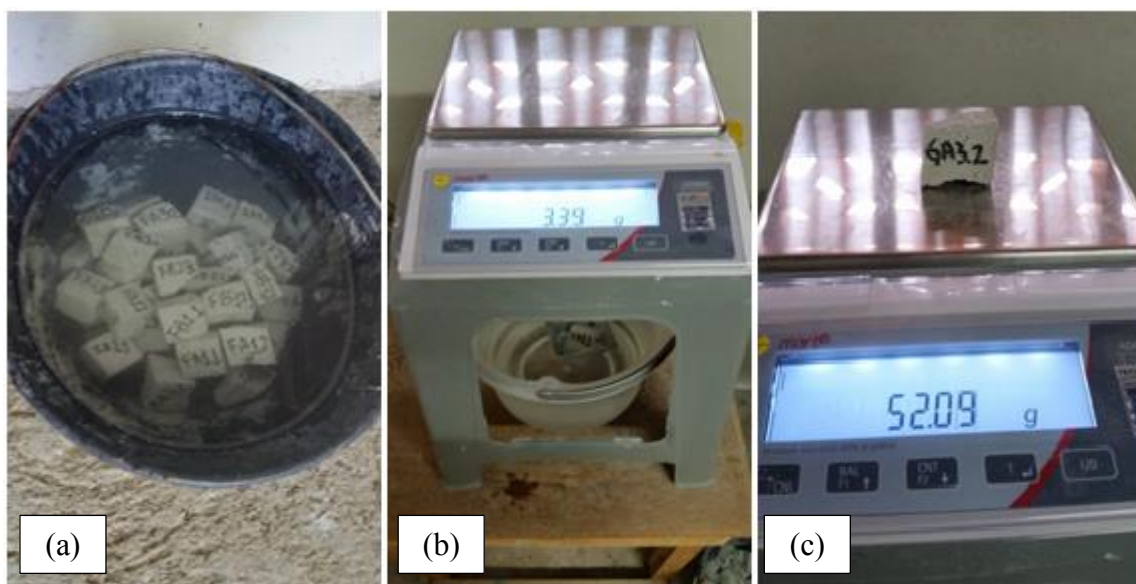
Os corpos de prova foram fragmentados em 6 pedaços para cada uma das formulações (figura 12), e colocados em estufa à 100 °C por 24h, de modo a obter a massa seca. Na sequência, as amostras ficaram imersas em água por 48h (figura 13a) para obtenção da massa imersa (figura 13b). E, por fim, com o auxílio de um papel absorvente, a quantidade de água na superfície do material foi retirada e então os pedaços foram pesados novamente para determinar a massa saturada de superfície seca (figura 13c).

Figura 12: Amostras utilizadas nas propriedades físicas



Fonte: Autor, 2016

Figura 13: (a) Amostras imersas; (b) Pesagem da amostra imersa; (c) Pesagem da massa saturada de superfície seca amostra



Fonte: Autor, 2016

Com esses parâmetros, foi possível determinar as propriedades físicas desejadas, através das equações abaixo, citadas na NBR 9778 (2006).

$$(a) \text{ Densidade Aparente em g/cm}^3 = \frac{M_s}{M_{sat}-M_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$(b) \text{ Absorção de Água em \%} = \frac{M_{sat}-M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$(c) \text{ Porosidade Aberta em \%} = \frac{M_{sat}-M_s}{M_{sat}-M_i} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

- M_s = Massa seca (g);
- M_{sat} = Massa superfície saturada seca (g);
- M_i = Massa imersa (g).

3.3.4 Ensaio de retração

Nesse ensaio foram produzidos 3 corpos de prova para cada formulação, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm (figura 14). A execução seguiu parcialmente a NBR 15261 (2005) uma vez que os CP'S foram retirados das formas e armazenados em local apropriado somente no sétimo dia e a medição realizada aos 7, 14, 21 e 28 dias. Houve a necessidade das amostras com perlita permanecerem por mais tempo dentro dos moldes uma vez que durante a desforma, algumas quebraram.

Figura 14: Corpos de prova utilizados no ensaio de retração



Fonte: Autor, 2016

A medição foi feita em um equipamento que contém um relógio comparador acoplado (figura 15). A variação dimensional da argamassa tem como referência uma barra-padrão metálica usada para obter a leitura “zero” no relógio comparador, depois os corpos de prova são inseridos para compor sua medição.

Figura 15: Equipamento utilizado para determinação da retração das argamassas ao longo do tempo



Fonte: Autor, 2016

Para determinar a porcentagem de retração dos corpos de prova, a equação utilizada foi:

$$\text{Retração} = \frac{\text{DI}}{\text{C}} \times 100$$

Onde:

- Retração = Contração no tempo (%);
- DI = Variação do comprimento do corpo de prova (mm);
- C = Comprimento efetivo do corpo de prova (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TRABALHABILIDADE

A presença da perlita implicou na redução da trabalhabilidade em diferentes níveis quando comparada a formulação de referência. A formulação completa das argamassas são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6: Formulação dos CP'S

NOME	ARGAMASSA (g)	PERLITA		H ₂ O		ABERTURA NA MESA (mm)
		%	(g)	%	(g)	
REF	1000,00	0,00	0,00	18,00	180,00	240,00
2,5PF	1000,00	2,50	25,00	25,50	261,38	245,00
5,0PF	1000,00	5,00	50,00	34,00	357,00	250,00
2,5PI	1000,00	2,50	25,00	23,50	240,88	240,00
5,0PI	1000,00	5,00	50,00	29,50	309,75	238,00
2,5PG	1000,00	2,50	25,00	21,50	220,38	245,00
5,0PG	1000,00	5,00	50,00	24,50	257,25	235,00

Fonte: Autor, 2016

Percebe-se claramente, através da tabela acima, que as argamassas com adição de perlita em todas as granulometrias apresentaram um decréscimo no índice de consistência quando comparadas com a argamassa de REF e, portanto, demandaram um maior teor de água na mistura para atingir a mesma abertura na mesa de 240 ± 10 mm (figura 16). As argamassas que contém PG necessitaram as menores quantidades de água que as argamassas produzidas com PI e PF para atingir a consistência padrão fixada. Este fato é atribuído a maior granulometria do agregado, responsável pela redução da área específica e naturalmente o menor consumo de água na mistura.

Figura 16: Abertura da argamassa na mesa de consistência



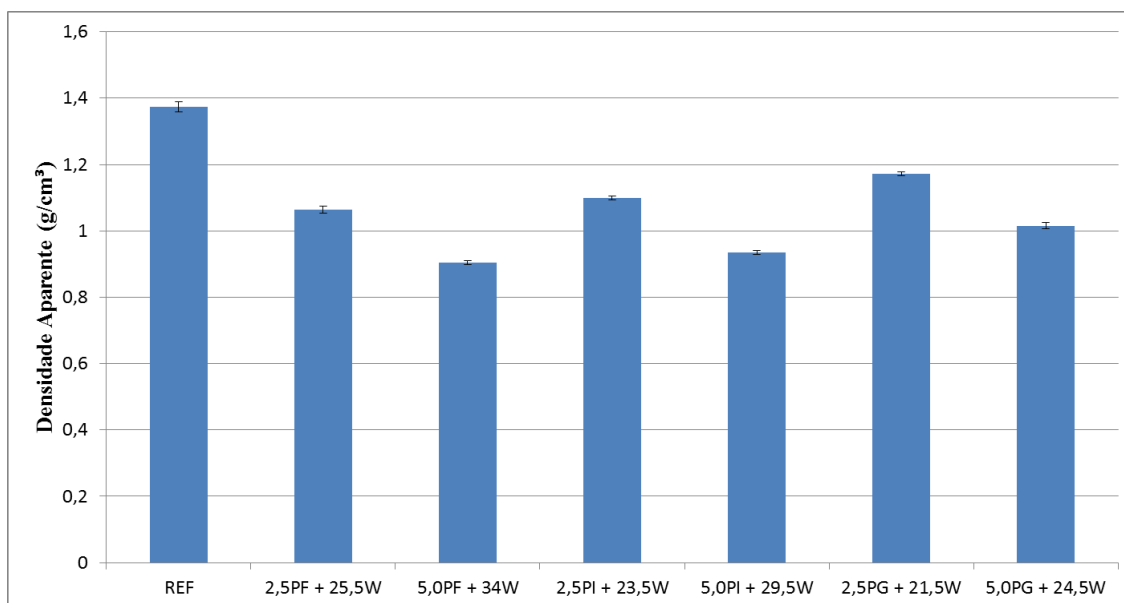
Fonte: Autor, 2016

4.2 DENSIDADE APARENTE

Os resultados obtidos aos 28 dias de cura indicados na figura 17 permite observar que a densidade aparente foi influenciada principalmente pelo aumento do teor de PER, dado que, quanto maior sua porcentagem na formulação, menor a densidade aparente da amostra. Em relação às granulometrias, a PF apresenta massa específica aparente ($0,088 - 0,104 \text{ g/cm}^3$) menor que a PI ($0,072 - 0,088 \text{ g/cm}^3$) e a PG ($0,064 - 0,08 \text{ g/cm}^3$), uma vez que a quantidade adicionada foi definida em massa e a densidade dos materiais envolvidos são diferentes entre si. De fato, quanto menor o valor da massa específica aparente, maior será o volume ocupado pelo agregado na mistura favorecendo a redução da densidade aparente.

Outro fator que influenciou a redução desse parâmetro foi a quantidade de água necessária para ajustar a trabalhabilidade, pois dosagens adicionais favorecem a formação de uma estrutura mais porosa, uma vez que ao longo do tempo a água evaporada resulta na formação de vazios, favorecendo a redução da densidade.

Figura 17: Densidade aparente das argamassas aos 28 dias de cura

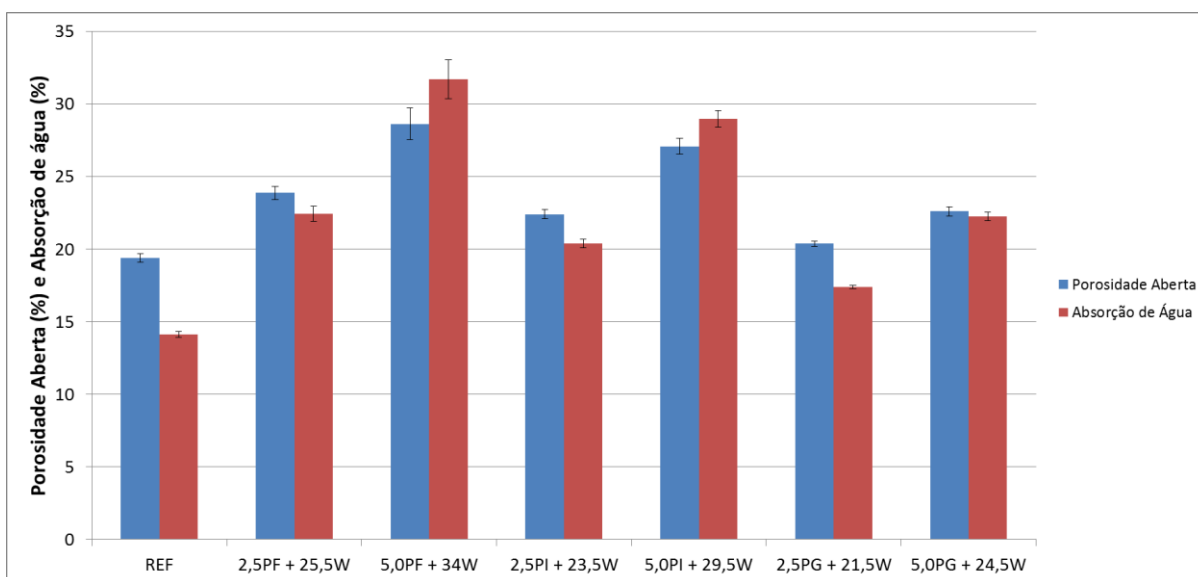


Fonte: Autor, 2016

4.3 POROSIDADE ABERTA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os parâmetros que mais impactaram a porosidade aberta, assim como a absorção de água (figura 18), foram a quantidade de PER adicionada e sua granulometria, bem como a dosagem de água na utilizada.

Figura 18: Porosidade aberta e absorção de água das argamassas aos 28 dias de cura

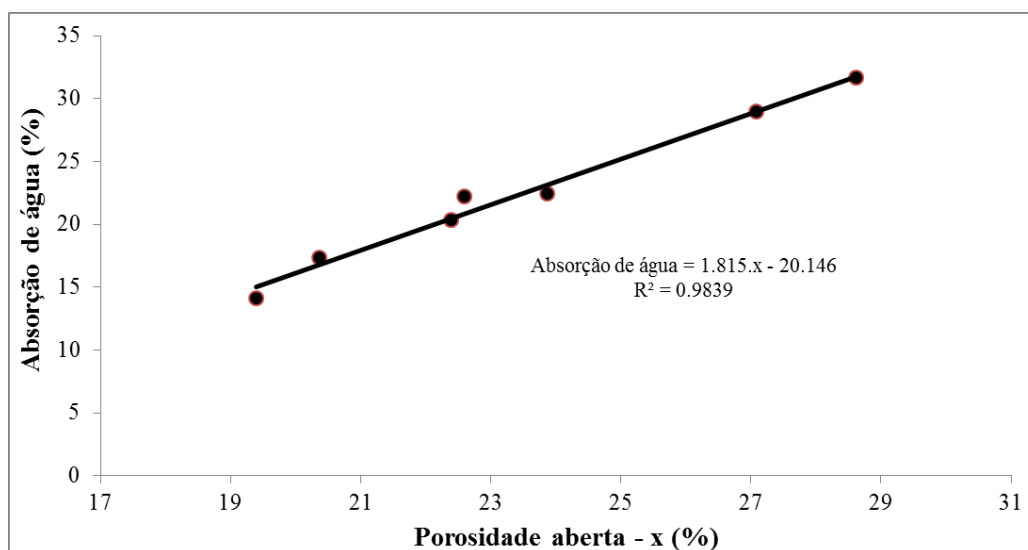


Fonte: Autor, 2016

A amostra que apresentou maior porosidade aberta (5,0PF + 34W), sofreu um aumento de aproximadamente 147,61% em relação a REF. Este fato é atribuído à facilidade com que a PER absorve água e durante o processo de cura a elimina por evaporação, fazendo com que em seu lugar permaneçam espaços vazios. Além disso, quanto menor a granulometria do agregado, maior é a sua superfície de contato, necessitando de maior teor de água quando comparado a uma amostra com agregado de granulometria maior.

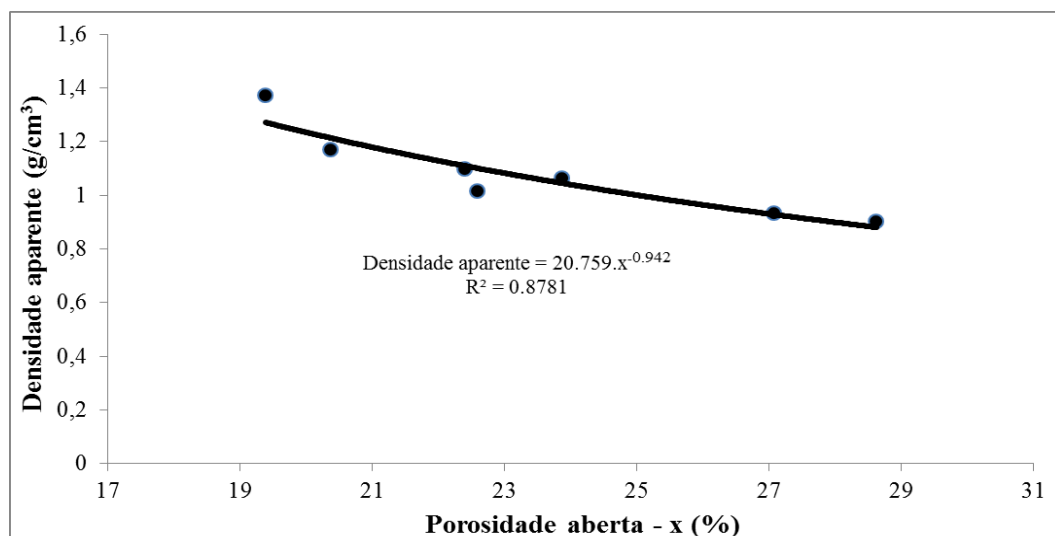
Percebe-se que para a mesma quantidade de perlita nas formulações contendo PF, PI ou PG, a porosidade aberta diminui, porém ao aumentar o teor de PER de 2,5% para 5,0%, da mesma granulometria, a porosidade e absorção de água aumentam. Como esperado, a porosidade aberta e a absorção de água se mostraram diretamente proporcionais (figura 19), enquanto a figura 20 mostra que os CP'S com maior porosidade aberta foram os que apresentaram menor densidade aparente, comprovando que ambas as propriedades apresentam relações inversamente proporcionais.

Figura 19: Comparativo das propriedades - porosidade aberta x absorção de água



Fonte: Autor, 2016

Figura 20: Comparativo das propriedades – densidade aparente x porosidade aberta

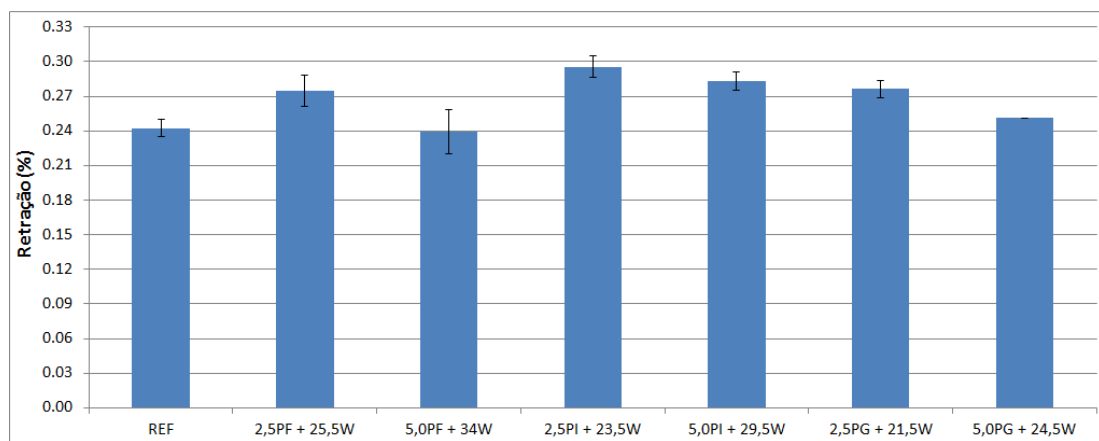


Fonte: Autor, 2016

4.4 RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS

O gráfico indicado na figura 21 apresenta o resultado da retração de todas as formulações aos 28 dias de cura. Comparando as formulações entre si, percebe-se que para uma mesma granulometria, a mistura que apresentou maior quantidade (5,0%) de PER sofreu menor retração em relação à outra (2,5%). Em geral, as misturas que mostraram menores retrações apresentaram também menores variações de massa. Isso pode ser atribuído a capacidade da amostra de absorver água nesse período.

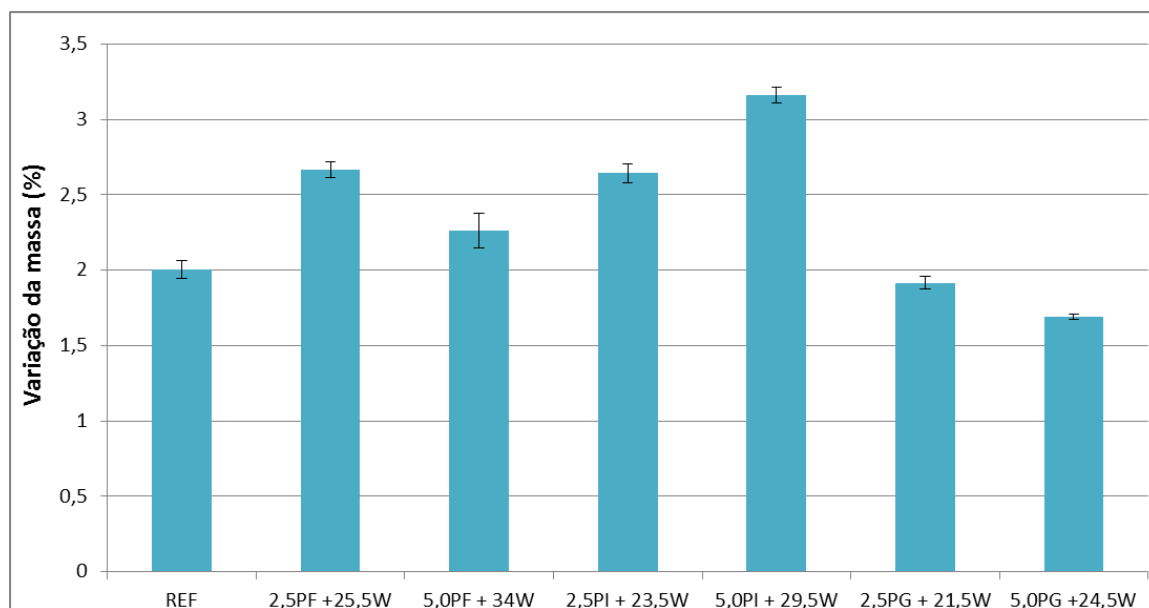
Figura 21: Retração dos corpos de prova aos 28 dias de cura



Fonte: Autor, 2016

Com relação à massa dos corpos de prova de retração, pode-se perceber que ao longo dos 28 dias de cura houve um aumento da massa. A variação da umidade durante a realização do ensaio apresentou grande amplitude, mostrando que as amostras têm a tendência de interagir com o ambiente.

Figura 22: Variação de massa dos corpos de prova de retração aos 28 dias de cura

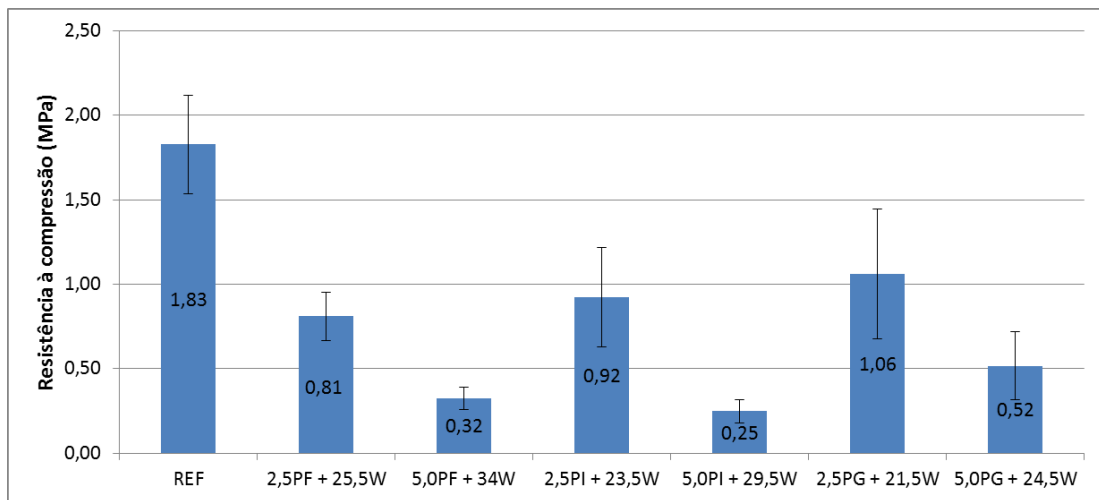


Fonte: Autor, 2016

4.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

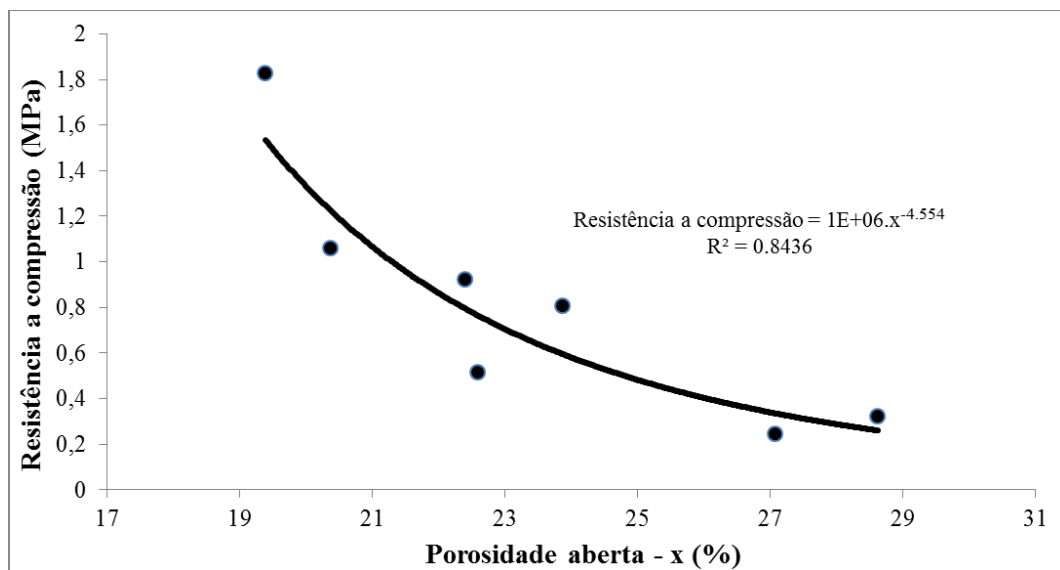
Os resultados referentes à compressão das argamassas obtidos aos 28 dias de cura são apresentados na figura 23. Analisando os CP'S para o teor de 2,5%, considerando o desvio padrão, percebe-se que a resistência apresentou praticamente o mesmo valor, mas quando se compara as amostras de 2,5% para 5,0% da mesma granulometria, fica claro que o aumento da porcentagem de perlita promove a redução da resistência à compressão. Através da figura 24 observa-se que o aumento da porosidade aberta, implica na redução da resistência à compressão. Tais propriedades apresentam tendências inversamente proporcionais. Além disso, a quantidade de água na mistura também pode influenciar na resistência à compressão do material, uma vez que ao evaporar deixa vazios no local que ocupava e por consequência o corpo de prova mais frágil. Em geral, quanto menor a granulometria, e maior a porcentagem em relação à massa utilizada na formulação, maior foi a quantidade de água necessária pra manter a mesma trabalhabilidade, portanto menor a resistência do CP.

Figura 23: Resistência à compressão aos 28 dias de cura



Fonte: Autor, 2016

Figura 24: Comparativo das propriedades - resistência mecânica x porosidade aberta



Fonte: Autor, 2016

5 CONCLUSÕES

O uso de perlita (PER) resultou em uma variação significativa das propriedades no estado fresco e endurecido para as argamassas estudadas. A trabalhabilidade, parâmetro analisado no estado fresco foi facilmente controlada pelo uso de dosagens distintas de água em função do teor de PER adicionado.

A densidade aparente das amostras com PER reduziram significativamente se comparado à formulação REF, enquanto os resultados da absorção de água e porosidade aberta resultaram em maiores valores aos 28 dias de cura. Em geral, os resultados mostraram que o fator de maior influência nas propriedades físicas foi a dosagem de PER, seguido do tipo (granulometria) e quantidade de água adicionada.

Com relação à retração nota-se que as formulações que apresentavam maior teor de PER e conseqüentemente maior teor de água sofreram menor retração e também menor variação de massa.

Embora a PER foi o principal fator analisado neste trabalho a influência da água não pode ser desconsiderada. Na prática, o aumento da quantidade de PER exigiu maior quantidade de água para que a trabalhabilidade se mantivesse constante, o que influenciou em todas as propriedades estudadas, sendo inclusive o fator limitante da resistência à compressão, uma vez que as formulações com maior quantidade de água foram as menos resistentes. Portanto, o efeito da água foi ambivalente, pois do ponto de vista mecânico ela atua de forma negativa, mas em termos da redução de peso, o incremento de poros na estrutura interna favorece um desempenho diferenciado em termos de condutividade.

Com base nas propriedades analisadas, as formulações com 5,0% PER apresentaram grande fragilidade, desintegrando-se com facilidade. Por essa razão as amostras 2,5PF + 25,5W e 2,5PI + 23,5W mostraram-se as mais adequadas, uma vez que apresentaram valores parecidos de porosidade aberta, absorção de água e, levando em conta o desvio padrão, percebe-se que a resistência à compressão é similar nas duas misturas, bem como a retração.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo das adições de PER empregando outros traços;
- Avaliar a durabilidade do material para idades mais avançadas;
- Realizar ensaio de condutividade térmica, avaliando as propriedades termo isolantes e acústicas das argamassas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

_____.NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação a resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005. 9p.

_____.NBR 7211: **Agregados para concreto.** Rio de Janeiro, 2009, 12 p.

_____.NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por imersão-índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2006.

_____.NBR 13749: **revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas -especificação.** Rio de Janeiro, 1996. 6p.

_____.NBR 15261: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear).** Rio de Janeiro, 2005.

BAÍÁ, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2002. 82p. (Primeiros passos da qualidade no canteiro de obras).

BAUER, E. **Revestimento de argamassa – Características e peculiaridades.** 1. ed. B Brasília: LEM-UnB – SINDUSCON/DF. 2005.

BEZERRA I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010.

BRAGA, M. B. C. **Desempenho de argamassas com agregados finos provenientes da trituração do betão.** Dissertação de Mestrado pela Universidade Técnica de Lisboa. Portugal, 2010.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; SCARTEZINI, Luís M. **Importância dos Materiais na Aderência dos Revestimentos de Argamassa.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília: UnB/ENC, 2001.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo, IBRACON, 2007.

CAVALHEIRO, O. P. **Curso internacional de alvenaria estrutural**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 145p.

GOMES, A. O. **Propriedades das Argamassas de Revestimentos e Fachadas**. Escola Politécnica da UFBA. Comunidade da Construção, Salvador, 2008. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo3/htms/download/Propriedades_das_argamassas_de_revestimento_2008.pdf>. Acesso em: 9 de março de 2016.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Volume 2 – 1ª. ed. São Paulo, IBRACON, 2007.

KOKSAL, F., GENÇEL, O., KAYA, M., **Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures**. Construction and Building Materials. v. 88, p. 175-187, 2015.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, 1998.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MIRANDA, Lina Maria Carvalho da Costa. **Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Portugal, 2009. Disponível em: <http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/336/1/msc_lmccmiranda.pdf>. Acesso em 11 de março de 2016.

MORAVIA, W.G. **Influência dos parâmetros microestruturais na durabilidade do concreto leve produzido com argila expandida**. 187 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

OLIVEIRA, L. S. **Influência da Cal na Trabalhabilidade e na Resistência Mecânica de Argamassas**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2009.

PEÑA, Manuel Ramón Grullón. **Estudo da fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto**. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PERLITE INSTITUTE. **Perlite Aggregate for Lightweight Insulating Concrete**. Disponível em: http://www.perlite.org/product_guides/12%20lightweight%20insulating%20concrete.pdf. Acesso em 11 março 2016.

POPOVICS, S. **Concrete materials: properties, specifications and testing**. 2 ed. New Jersey: Noyes Publications, 1992. 661 p.

RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. 294 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A., AGNESINI, M.V.C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações. Concreto Estrutural Leve**. IBRACON, São Paulo, 2005. p. 1333-1362.

SANTOS, H. B. **Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Dezembro, 2008.

SCHUMACER INSUMOS. **Perlita Expandida para Construção Civil**. Disponível em: <http://www.schumacherinsumos.com.br/malha.htm>. Acesso em 12 de março de 2016.

SILVA, Narciso G. da. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC/UFPR, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0070.pdf>. Acesso em: 9 de março de 2016.

SILVA, Narciso G. da. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica** (tese) .Florianópolis, SC, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95497/291207.pdf?sequence=1>. Acesso em 10 de março de 2016.